

EDELSTEENKUNDE

K.Binnemans

Synthetisch diamant van edelsteenkwaliteit (2)

4.-GEMMOLOGISCHE EIGENSCHAPPEN VAN SYNTHETISCH DIAMANT

Gedurende de laatste jaren zijn verscheidene studies aangaande de gemmologische eigenschappen van synthetisch diamant verschenen. De onderzochte stalen waren niet voor de edelsteenhandel geproduceerd, maar voor technologische doeleinden. Nochtans is het wenselijk om voldoende vergelijkingsmateriaal te bestuderen om onderscheidingscriteria voor natuurlijke en synthetische diamanten op te stellen. Enkel op deze manier kunnen de gemmologische onderzoekslaboratoria goed voorbereid zijn op het moment dat synthetische diamanten frequent op de edelsteenmarkt zullen opduiken.

De Japanse firma **Sumitomo** verkoopt schijfjes geel synthetisch diamant voor industriële toepassingen, vooral voor de vervaardiging van componenten om de warmte in elektronische circuits efficiënt af te voeren. Een gemmologisch onderzoek van door Sumitomo gesynthetiseerde diamanten werd door Shigley et al. (1992) uitgevoerd.

De gemmologische eigenschappen van de eerste diamantkristallen van edelsteenkwaliteit geproduceerd door **General Electric** in 1970, werden gedetailleerd beschreven door Koivula en Fryer (1984). General Electric heeft ook bijna-kleurloze synthetische diamanten van type IIa gemaakt, uitgaande van isotopisch zuivere koolstof-12. Deze diamanten hebben een nog grotere warmtegeleidbaarheid dan de gewone diamanten die bestaan uit een mengsel van ^{12}C en ^{13}C . Ze worden voor technologische doeleinden vervaardigd. Shigley et al. (1993a) hebben de gemmologische eigenschappen van deze diamanten bestudeerd.

Alhoewel **De Beers** de grootste producent van natuurlijke diamanten is en de wereldhandel in diamant controleert, worden in de onderzoekslaboratoria van deze maatschappij ook diamantkristallen van edelsteenkwaliteit geproduceerd, weliswaar enkel op experimentele basis. Deze synthetische diamantkristallen werden beschreven door Shigley et al. (1987) en door Rooney et al. (1993).

Een belangrijk centrum voor de productie van synthetisch diamant bevindt zich in **Novosibirsk** (Siberië, Rusland), waar de synthese met het reeds hogerop beschreven BARS-apparaat wordt uitgevoerd. Een uitgebreid rapport over de gemmologische eigenschappen van deze Russische syntheses werd door Shigley et al (1993b) opgesteld. Recent is bekend geworden dat ook in de streek van **Vladimir** nabij Moskou gele synthetische diamanten van edelsteenkwaliteit worden gemaakt (Sosso 1995). Vermeldenswaard zijn ook de rode synthetische diamanten die aan het GIA onderzoekslaboratorium (Gemological Institute of America) ter expertise werden aangeboden (Moses et al. 1993). De rode kleur werd verkregen door bestraling en verhitting na de synthese.

Een algemeen overzicht van de verschillen in eigenschappen van synthetische en natuurlijke diamanten wordt door Fritsch en Shigley (1993) gegeven.

Typisch voor de meeste synthetische diamanten zijn kleine (0,1 tot 1 mm) **staafvormige, afgeronde of plaatvormige zwarte insluitels met een metaalglans**. Deze insluitels bevatten meestal ijzer, maar soms ook nikkel en kobalt (bepaald met

een microsonde of met energie-dispersieve X-stralenfluorescentie). Ze zijn een **overblijfsel van de flux/katalysator**, bestaande uit gesmolten metaal waarin de diamanten gegroeid zijn. De recentste diamantkristallen bevatten echter minder en ook kleinere insluitels. De insluitels kunnen het best waargenomen worden door de steen in een immersievloeistof (dijoodmethaan) te plaatsen en te bekijken met behulp van een edelsteenmicroscop. Bij doorgaand licht zijn deze insluitels opgaak. De metallische glans zal eerst bij opvallend licht kunnen waargenomen worden. In natuurlijke diamanten komen geen metallische insluitels voor. Deze insluitels zijn dus een diagnostisch kenmerk voor synthetische diamanten. Wanneer de insluitels groot genoeg zijn, wordt de steen **door een eenvoudige staafmagneet of hoefijzermagneet** aangetrokken. Voor microscopisch kleine, fijn verdeelde insluitels is echter een zeer gevoelige test vereist. Rossmann en Krischvink (1984) gebruikten een SQUID-magnetometer (SQUID = Superconducting Quantum Interference Device) voor de studie van magnetische eigenschappen van synthetisch diamant. Dit ultragevoelig instrument heeft een supergeleidende detector die tot 4,2K gekoeld is en het is in staat om een hoeveelheid van slechts enkele picogrammen (1 picogram = 10^{-12} g) ferromagnetisch materiaal aan te tonen. Niet alleen vertonen synthetische diamanten een sterker magnetisme dan natuurlijke, ze zijn ook beter tegen demagnetisatie bestand. Deze laatste test blijft natuurlijk buiten het bereik van een modale edelsteenkundige.

Synthetische diamanten vertonen slechts een **geringe anomale dubbelbreking**. Anomale dubbelbreking uit zich bij een synthetische diamant als een onregelmatige uitdoving in de vorm van **kruisvormige schaduwbalken** wanneer de steen tussen de gekruiste polarisatoren van een polariscope wordt rondgedraaid. De anomale dubbelbreking is **parallel met de kubusvlakken**. Ook rond de metallische insluitels kunnen zich spanningszones vormen. Deze veroorzaken **spanningshalo's**, die zich uiten in de vorm van een vlekkerige uitdoving. Natuurlijke diamantkristallen vertonen daarentegen vaak een sterke anomale dubbelbreking, die parallel met de octaëdervlakken is.

Een belangrijk verschil tussen natuurlijke en synthetische diamanten is dat in synthetische diamanten ook **kubische groeisectoren** voorkomen, naast de octaëdrische die zowel in synthetische als natuurlijke diamanten te vinden zijn. De aanwezigheid van verschillende groeisectoren kan op verscheidene manieren duidelijk gemaakt worden. In de eerste plaats door kleurzoneringen, die de verschillende sectoren aflijnen. **Kleurzoneringen** komen vooral in gele en blauwe diamanten voor en zijn te wijten aan preferentiële inbouw van stikstof of boor in bepaalde sectoren. In veel gele, synthetische diamanten vertonen de octaëdrische sectoren een homogene, gele kleur, terwijl de sneller groeiende kubische sectoren een meer onregelmatig gebande kleurverdeling hebben. Zulke patronen van kleurzonering worden nooit bij natuurlijke diamanten waargenomen. De kleurverdeling is hier meestal enkel parallel met de octaëdervlakken en veel minder contrastrijk.

Kleurzoneringen kunnen evenals insluitels met de edelsteenmicroscop waargenomen worden. Ook hier kan werken in een immersievloeistof voordeel opleveren. Groeisectoren kunnen in de microscop ook waargenomen worden door de kleine verschillen in brekingsindex tussen de verschillende sectoren, wat zich uit in contrastverschillen. Men spreekt in dit geval over **grenseffecten**.

De duidelijkheid van de kleurzoneringen en grenseffecten neemt af naarmate het stikstofgehalte van de steen daalt en ze zijn volledig afwezig in de bijna kleurloze diamanten van type IIa.

Omdat zelfs lage concentraties aan roosterdefecten of onzuiverheden aanleiding kunnen geven tot luminescentie, kunnen **luminescentietechnieken** succesvol toegepast worden om inwendige groeisectoren op te sporen, zelfs in kleurloze synthetische diamanten. Voor het waarnemen van **fotoluminescentie** gebruikt men in de edelsteenkunde twee verschillende excitatiegolflengten: **366,0 nm (UVL, langegolf-UV)** en **253,7 nm (UVS, kortegolf-UV)**. Een opvallend kenmerk van synthetische diamanten is dat ze bijna altijd inert zijn in langgolvig ultraviolet licht, maar meestal fluoresceren in kortgolvig ultraviolet licht. Het luminescentiepatroon

van synthetische diamanten maakt ook de groeisectoren duidelijk. In het algemeen fluoresceren de kubische groeisectoren met verschillende intensiteiten in groen-gele, gele en (zeldzamer) in oranje of blauwvioletten kleuren. De octaëdrische groeisectoren blijven inert. Natuurlijke diamanten zijn ofwel inert voor zowel UVL als voor UVS, ofwel fluoresceren ze sterker in langgolvig UV-licht dan in kortgolvig. Er dient opgemerkt te worden dat het verschillend gedrag in ultraviolet licht niet als diagnostisch kan beschouwd worden, maar enkel een sterke aanwijzing geeft. Bij synthetische diamanten van De Beers werd wel een UVL-fluorescentie waargenomen, maar de intensiteit is steeds zwakker dan voor UVS (Rooney 1993). Gele synthetische diamanten uit Novosibirsk, die na de synthese een bijkomende verhitting onder hoge druk ondergingen, vertonen een intensere UVL- dan UVS-fluorescentie. Wel typisch blijft de **gezoneerde fluorescentie bij synthetische stenen** (Fig.11).

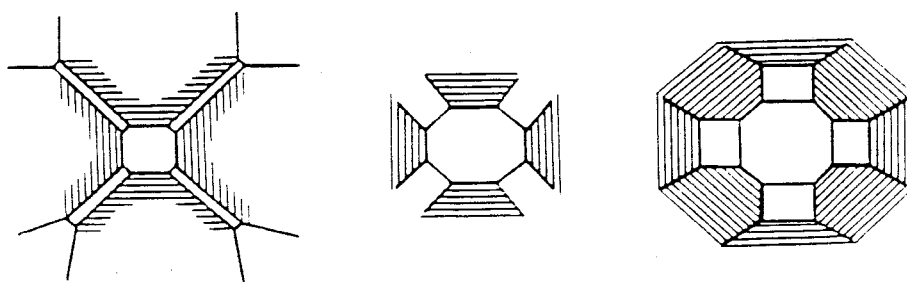


Fig.11 : Gezoneerde fluorescentie bij synthetische diamantkristallen uit Novosibirsk (volgens Shigley et al. 1993b).

Kathodoluminescentie (luminescentie door excitatie met elektronen in een vacuüm-kamer) kan ook gebruikt worden om groeisectoren op te sporen. De groeisectoren uit zich vooral als intensiteitsverschillen. Omdat kathodoluminescentie intenser is dan fotoluminescentie in kortgolvig ultraviolet licht, is een duidelijke waarneming van de groeisectoren mogelijk. Natuurlijke diamanten vertonen over het algemeen een homogene luminescentiekleur, ofwel is hun luminescentie parallel met de octaëdervlakken gezoneerd. De toepassing van kathodoluminescentie voor het herkennen van synthetische diamanten wordt door Woods en Lang (1975) en door Panohla (1989, 1990) besproken.

Diamanten die sterk geel fluoresceren bij **excitatie met X-stralen** en een sterke gele fosforescentie vertonen, zijn heel waarschijnlijk van synthetische oorsprong. De meeste natuurlijke diamanten fluoresceren blauw bij bestraling met X-stralen. In zeldzame gevallen kan een natuurlijke steen rood of oranje fluoresceren, maar nooit geel.

Aangezien de meeste synthetische diamanten tot het type Ib behoren, zal hun **absorptiespectrum** ook dat van type Ib diamanten zijn. In het bijzonder zullen bij de gele synthetische diamanten (Ib) de scherpe absorptielijnen uit de "Cape-serie" (met de meest intense absorptiepiek bij 415,5 nm) niet waargenomen worden, terwijl dit voor natuurlijke gele diamanten (Ia) wel het geval is. In sommige synthetische diamantkristallen zijn absorptiepieken te zien die aan nikkel zouden te wijten zijn (Collins en Spear 1985, Lawson en Kanda 1993a, 1993b). Lawson en Kanda (1993a, 1993b) toonden aan dat de loutere aanwezigheid van nikkel alleen geen voldoende voorwaarde is voor de nikkellijnen in het spectrum. Ook moeten de diamantkristallen stikstofonzuiverheden bevatten. Het juiste absorptiemechanisme is nog niet opgehelderd. Vooral kristallen die na synthese een bijkomende hittebehandeling hebben ondergaan, vertonen dit absorptiegedrag in sterke mate. Nikkel is afkomstig van de metaalflux. Shigley et al. (1993b) vermelden nikkelspectra in synthetische diamanten uit Novosibirsk.

Een onderscheid tussen natuurlijke en synthetische diamanten zal moeilijker worden als in plaats van een flux/katalysator uit gesmolten ijzer of nikkel een silicaatsmelt zal gebruikt worden. Arima et al. (1993) bestudeerden de kristallisatie van diamant uit een kimberlietsmelt en vonden voor de synthetische diamantkristallen een morfologie die erg goed op die van natuurlijke kristallen lijkt (goed ontwikkelde octaëdervlakken). Het betreft hier nog wel geen synthetische diamantkristallen van edelsteenkwaliteit.

5.-CVD-DIAMANTLAGEN OP DIAMANTSIMULANTEN

Naast de synthese van diamantkristallen van edelsteenkwaliteit is er een compleet verschillende techniek ontwikkeld om dunne lagen van synthetisch diamant af te zetten op een substraat, en dit bij lage druk en matige temperatuur. Deze techniek is gebaseerd op de techniek van **chemische dampafzetting (CVD, chemical vapor deposition)** en bestaat uit een afzetting van tetraëdrisch gebonden koolstofatomen uitgaande van een koolstofhoudend, waterstofvrij gas (bijv. 1 vol.% methaan vermengd met waterstof). Door middel van een energiebron (microgolven, radiogolven of met een verhit wolframfilament) wordt het gas in een koolstofvrij plasma omgezet. De koolstofatomen worden vervolgens op een substraat afgezet. Waterstof is nodig om de vorming van grafiet te minimaliseren. Variaties op deze techniek zijn succesvol toegepast voor de groei van **dunne laagjes synthetisch diamant** en van een nieuwe klasse van materialen die **diamantachtige koolstof (DLC, diamond-like carbon)** genoemd wordt. In DLC zijn de koolstofatomen deels gerangschikt volgens een diamantrooster en deels volgens een grafietrooster. Meestal zijn de laagjes synthetisch diamant of DLC **polykristallijn**, wat betekent dat ze uit kleine kristallieten zijn opgebouwd. De verschillende methoden om CVD-diamanten te maken worden door Bachmann (1980) besproken.

De vrees bestaat in de edelsteenhandel dat **diamantsimulanten met een dun laagje synthetisch diamant** zouden kunnen overtrokken worden om de simulant zich meer als een diamant te laten gedragen. Met name bestaat de mogelijkheid dat een met synthetisch diamant overtrokken steen bij gebruik van de reflectometer en van de warmtegeleidbaarheidsmeter als diamant wordt gedetermineerd. Vooral **met synthetisch diamant overtrokken cubic zirconia** zou een heel verraderlijke diamantsimulant zijn.

Een andere toepassing van laagjes synthetisch diamant is het overtrekken van een diamant met een gekleurde laag. Ook zouden zachte edelstenen met een diamantlaagje kunnen overtrokken worden om hun krasweerstand te verhogen.

De gemmologische eigenschappen van een polykristallijne diamantfilm (ca. 0,001 mm dik) werden door Fritsch et al. (1987) onderzocht. Het belangrijkste besluit was dat zolang als de diamantlaagjes dun blijven ($< 0,005$ mm) de warmtegeleidbaarheidsmeter een betrouwbaar onderscheid toelaat tussen diamanten en met synthetisch diamant gecoate diamantsimulanten. De warmtegeleidbaarheid die gemeten wordt, is die van het substraat in plaats van die van de film. Omdat de polykristallijne diamantfilmen een ander thermisch gedrag vertonen dan monokristallen van diamant, kan het zijn dat zelfs diktes van meer dan 0,005 mm vereist zijn om de warmtegeleidbaarheidsmeter om de tuin te leiden. De **korrelige textuur** van de polykristallijne diamantfilmen zijn een diagnostisch kenmerk. De textuur kan met een edelsteenmicroscoop bestudeerd worden. Gekleurde diamantfilmen op diamant kunnen gemakkelijk met de microscoop herkend worden als de steen in een immersievloeistof (dijoodmethaan) wordt geplaatst. Dunne lagen vertonen soms typische interferentiepatronen.

Een groot probleem bij lagen van synthetisch diamant en DLC-lagen is de slechte hechting op substraten waarvan de structuur sterk van diamant afwijkt. Tot hiertoe werd de beste hechting verkregen op diamant zelf en op silicium. Deze adhesieproblemen bemoeilijken de afzetting van een diamantfilm op cubic zirconia.

6.-DISCUSSIE EN BESLUIT

Alhoewel de technologie voor synthese van grote, zuivere diamantkristallen reeds een kwart eeuw toegepast wordt, werden deze kristallen enkel voor hi-tech toepassingen gebruikt. Commercialisatie van synthetisch diamant van edelsteenkwaliteit is een heel recent verschijnsel. Door optimalisatie van de productie-omstandigheden daalt de kostprijs van synthetisch diamant. Vooral de Russische laboratoria willen zich richten op de synthese van diamant voor de juweelindustrie. In de zomer van 1993 werd de edelsteenmarkt opgeschrikt door een aankondiging van **T.Chatham**, commercieel directeur van **Chatham Created Gems** (een firma in de U.S.A. die gespecialiseerd is in de productie van flux-synthesen). Chatham zei een joint venture te hebben gesloten met een producent van synthetisch diamant uit Rusland en zei ook dat Chatham Created Gems kleurloze, synthetische diamanten van edelsteenkwaliteit op de markt zou brengen. De stenen zouden tussen 1,00 en 1,50 ct wegen en zouden verkocht worden aan ééntiende van de prijs van natuurlijke diamanten van dezelfde kwaliteit. De totale productie zou binnen het jaar kunnen opgedreven worden tot 100 karaat per maand (Costan 1993). Al snel bleek dat de verwachtingen van Chatham te voorbarig waren. Niet alleen hadden de Russische bouwers voor de synthese-apparatuur hun prijzen verdrievoudigd, maar ook andere moeilijkheden staken de kop op. Communicatie en transport zijn een groot probleem in het huidige Rusland, waar een barslecht economisch klimaat heerst en waar corruptie hoogtij viert. Alhoewel Chatham er tot op heden niet in geslaagd is om synthetisch diamant echt te commercialiseren, toont dit voorval aan dat een algemene introductie van synthetisch diamant op de edelsteenmarkt in de nabije toekomst wel degelijk tot de mogelijkheden behoort.

Men kan zich afvragen welke rol synthetische diamanten in de toekomst op de edelsteenmarkt kunnen gaan spelen. Het is heel waarschijnlijk dat synthetisch diamant vooral succes zal hebben op de Amerikaanse en Japanse markt. Europeanen zijn altijd wantrouwig geweest ten overstaan van synthetische edelstenen. Dit is reeds gebleken voor synthetisch robijn, saffier of smaragd. Een voorbeeld kan dit illustreren. Wanneer men zich hier in Europa geen robijn van 100000 BEF kan veroorloven, zal men toch de voorkeur geven aan een natuurlijke steen van mindere kwaliteit die slechts 10000 BEF kost, in plaats van voor hetzelfde bedrag een synthese van topkwaliteit te kiezen. Amerikanen en Japanners daarentegen weten goede syntheses ook te waarderen. Nog te vaak worden syntheses in Europa ten onrechte als "namaak" of als een vervalsing beschouwd. Een steen kan echter enkel als een vervalsing beschouwd worden, indien de identiteit foutief wordt aangegeven. Men moet dus bij synthetische stenen wel steeds de synthetische oorsprong vermelden. Als de steen natuurlijk is, mag men gewoon over "diamant" spreken; is de steen echter synthetisch, dan is de juiste benaming "synthetisch diamant". Het op de markt brengen van synthetisch diamant aan slechts ééntiende van de kostprijs van natuurlijke diamanten, zal de prijs van natuurlijk diamant niet doen kelderen. Hetzelfde is immers ook niet gebeurd voor robijn, saffier of smaragd. Hier zien we nog steeds een stijgende tendens in de prijzen, omdat de natuurlijke stenen zeldzamer worden. Wel kan synthetisch diamant van edelsteenkwaliteit een invloed hebben op de verkoop van diamantsimulanten zoals cubic zirconia, alhoewel dit laatste product goedkoper zal blijven dan synthetisch diamant.

De edelsteenkundige zal er in de toekomst wel rekening mee moeten houden dat synthetisch diamant effectief op de markt verschijnt, of hij dit nu graag heeft of niet. Reeds meerdere malen werden aan het onderzoekslaboratorium van de GIA (Gemological Institute of America) diamanten ter controle aangeboden, die na onderzoek van synthetische oorsprong bleken te zijn. Het is voor de edelsteenkundige belangrijk om natuurlijke van synthetische diamanten te kunnen onderscheiden, zeker als het prijsverschil tussen de twee groter zal worden. Gelukkig zijn de huidige onderzoekstechnieken in de edelsteenkunde toereikend om op een betrekkelijk eenvoudige wijze dit onderscheid toe te laten. Hierbij moet het belang van de edelsteenmicroscoop voor het opsporen van metallische insluitels, kleurzoneringen en groei-lijnen in synthetisch diamant onderstreept worden. Ook de luminescentie-eigen-

schappen kunnen diagnostisch zijn. Kathodoluminescentie is een techniek die bij het onderzoek van diamanten belangrijker zal worden. Een techniek die nog beter op punt kan gesteld worden, is de meting van het magnetisme. Het gebruik van een eenvoudige staafmagneet is te rudimentair. Het is wel opletten geblazen als er edelstenen overtrokken met een dun laagje CVD-diamant in de handel worden gebracht en dan in het bijzonder gecoate cubic zirconia. Momenteel zijn er nog wel grote problemen om deze diamantlaagjes een goede hechting aan de substraatsteen te geven. Zolang de laagjes dun blijven, kan de warmtegeleidbaarheidsmeter toch ontdekken dat het niet over een diamant gaat. De vraag is alleen hoe lang dit nog zal kunnen blijven duren.

Terwijl vroeger de identificatie van een diamant niet veel problemen met zich meebracht en diamantexpertise vooral op de beoordeling van de kwaliteitsbepalende elementen gericht was, kan de bepaling van de natuurlijke of synthetische oorsprong van een diamant in de toekomst bij diamantonderzoek niet meer achterwege blijven.

Referenties

- M. Arima, K. Nakayama, M. Aikishi, S. Yamaoka en H. Kanda, *Crystallization of diamond from a silicate melt of kimberlite composition in high-pressure and high-temperature experiments*, *Geology* 11 (1993) 968.
- Bachmann, P.K., *Diamond Deposition*, *Advanced Materials* 2 (1990) 195.
- Bundy, F.P., H.T. Hall, H.M. Strong en R.H. Wentdorf, *Man-Made Diamonds*, *Nature* 4471 (1955) 51.
- Burke, E.A.J., *Kristalvormen en de vorm van kristallen*, *Gea* 18 (1985a) 112.
- Burke, E.A.J., *Overzicht van de 48 kristalvormen*, *Gea* 18 (1985b) 117.
- Burns, R.C., V. Cvetkovic, C.N. Dodge, D.J.F. Evans, M.-L. T. Rooney, P.M. Spear en C.M. Welbourn, *Growth-sector dependence of optical features in large synthetic diamonds*, *Journal of Crystal Growth* 104 (1990) 257.
- Collins, A.T. en P.M. Spear, *Optically active nickel in synthetic diamond*, *Journal of Physics D: Applied Physics* 15 (1982) L183.
- Collins, A.T. en M. Stanley, *Absorption and luminescence studies of synthetic diamond in which nitrogen has been aggregated*, *Journal of Physics: Applied Physics* 18 (1985) 2537.
- Costan J., *Slow start for Chatham diamonds*, *Diamond International* Nov./Dec. (1993) 71.
- Elwell, D., 1979, *Man-Made Gemstones* (Ellis Horwood, Chichester).
- Eppler, W.F., 1991, *Praktische Gemmologie* (Rühle-Diebener-Verlag, Stuttgart).
- Field, J.E. (editor), 1992, *The Properties of Natural and Synthetic Diamond* (Academic Press, London).
- Fritsch, E., en K. Scarratt, *Natural-Color Nonconductive Gray-to-Blue Diamonds*, *Gems & Gemology* 28 (1992) 35.
- Fritsch, E., en J.E. Shigley, *The separation of natural from synthetic gem-quality diamonds on the basis of crystal growth criteria*, *Journal of Crystal Growth* 128 (1993) 425.
- Fritsch E., L. Conner en J.I. Koivula, *A Preliminary Gemological Study of Synthetic Diamond Thin Films*, *Gems & Gemology* 25 (1989) 84.

- Hall, H.T., *The Synthesis of Diamond*, Journal of Chemical Education 38 (1961) 484.
- Hazen, R.M., 1993, *The New Alchemists, Breaking Through the Barriers of High Pressure* (Times Books, New York).
- Kanda, H., Ohsawa T. en S. Yamaoka, *Differences in morphology and impurity content of synthetic diamond grown from molten nickel*, Journal of Crystal Growth 99 (1990) 1183.
- Koivula, J.I. en R.C. Kammerlingh, *GemNews: Gem-quality synthetic diamonds from the USSR*, Gems & Gemology 27 (1991) 46.
- Koivula J.I., en C.W. Fryer, *Identifying Gem-Quality Synthetic Diamonds: an Update*, Gems & Gemology 20 (1984) 146.
- Lawson, S.C. en H. Kanda, *Nickel in diamond: an annealing study*, Diamond and Related Materials 2 (1993) 130.
- Legrand, J., 1980, *Diamant, mythe, magie en werkelijkheid* (Elsevier, Brussel).
- Lenzen, G., 1979, *Diamantenkunde mit kritischer Darstellung der Diamantengraduierung* (Elisabeth Lenzen, Kirschweiler).
- Lenzen, G., 1984, *Edelsteinbestimmung mit gemmologischen Geräten* (Elisabeth Lenzen, Kirschweiler).
- Liander H., *Artificial Diamonds*, ASEA Journal 28 (1955) 97.
- Liander, H. en E. Lundblad, *Some observations on the synthesis of diamond*, Arkiv F r Kemi 16 (1960) 139.
- May, P.W., *CVD diamond: a new technology for the future ?* Endeavour 19 (1995) 101.
- Minster, D., *The separation of natural from synthetic diamonds using the Barkhausen effect*, Journal of Gemmology 20 (1987) 458.
- Moses, T.M., I. Reinitz, E. Fritsch en J.E. Shigley, *Two Treated-Color Synthetic Red Diamonds Seen in the Trade*, Gems & Gemology 29 (1993) 182.
- Nassau, K., 1980, *Gems Made by Man* (Chilton Book Company, Radnor Pennsylvania).
- O'Donoghue, M., 1982, *Identifying man-made gems* (N.A.G. Press, London).
- Pagel-Theisen, V., 1980, *Diamond Grading ABC* (Rubin & Son, Antwerp).
- Ponahlo, J., *Mikrospektralphotometrie der Edelstein-Kathodolumineszenz*, Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft 38 (1989) 63.
- Ponahlo, J., *Cathodoluminescence (CL) and CL spectra of De Beers' experimental synthetic diamonds*, Journal of Gemmology 23 (1992) 3.
- Rossmann G. en J.L. Kirschvink, *Magnetic Properties of Gem-Quality Synthetic Diamonds*, Gems & Gemology 20 (1984) 163.
- Shigley, J.E., E. Fritsch, C.M. Stockton, J.I. Koivula, C.W. Fryer, R.E. Kane, D.R. Hargett en C.W. Welch, *The Gemological Properties of the De Beers Gem-Quality Synthetic Diamonds*, Gems & Gemology 23 (1987) 187.
- Shigley, J.E., E. Fritsch, I. Reinitz en M. Moon, *An Update on Sumitomo Gem-Quality Synthetic Diamonds*, Gems & Gemology 28 (1992) 116.

Shigley, J.E., E. Fritsch en I. Reinitz, *Two Near-Colorless General Electric Type-IIA Synthetic Diamond Crystals*, *Gems & Gemology* 29 (1993a) 191.

Shigley, J.E., E. Fritsch, J.I. Koivula, N.V. Sobolev, I.Y. Malinovsky en Y.N. Pal'yanov, *The Gemological Properties of Russian Gem-Quality Synthetic Yellow Diamonds*, *Gems & Gemology* 29 (1993b) 228.

Sosso, F., *Some observations on a gem-quality synthetic yellow diamond produced in the region of Vladimir (Russia)*, *Journal of Gemmology* 24 (1995) 363.

Strong, H.M., *Early diamond making at General Electric*, *American Journal of Physics* 57 (1989) 794.

Strong, H.M. en R.H. Wentorf, *Growth of large, high-quality diamond crystals at General Electric*, *American Journal of Physics* 59 (1991) 1005.

Sunagawa, I., *The distinction of natural from synthetic diamonds*, *Journal of Gemmology* 24 (1995) 485.

Rooney, M.-L. T., C.M. Welbourn, J.E. Shigley, E. Fritsch en I. Reinitz, *De Beers Near Colorless-to-Blue Experimental Gem-Quality Synthetic Diamonds*, *Gems & Gemology* 29 (1993) 38.

Van Royen, J., 1989, *De Oorzaken van Kleur in Diamant* (Hoge Raad voor Diamant, Antwerpen).

Vleeschdrager, E., 1983, *Hardheid 10, Diamant: geschiedenis, bewerking, handel* (Gaston Lachurié, Paris).

Woods, G.S. en A.R. Lang, *Cathodoluminescence, optical absorption and X-ray topographic studies of synthetic diamonds*, *Journal of Crystal Growth* 28 (1975) 215.

VARIA

TE KOOP

Kleine collectie mineralen te koop - geheel of in detail.

L.Vollebergh, Rijsheuvelstraat 63, 2600 Berchem - Tel.: 03/230 55 09 .

BEURZEN

NOVEMBER

9-10 nov. : **Luik** : Mineralen, fossielen - Palais des Congrès.

9-10 nov. : **Montigny-le-Tilleul** : RUIL-beurs mineralen, fossielen - 9-18u.
Centre Culturel, rue Wilmet.

16 nov. : **Zwijndrecht (NL)** : Mineralen, fossielen - Develsteincollege, Develsingel 5, Zwijndrecht.

2- 3 nov. : **München (D)** : Münchener Mineralientage - Messegelände - 9-18u.

20/11 - 1/12 : **Stuttgart - Killesberg (D)** : Mineralen, fossielen - Killesberg
Halle 5 - 10-18u.